Thermopapier

Dieses Modul umfasst 50% der schriftlichen Abiturprüfung.

Aufgaben

Thermopapiere dienen dem schnellen, sicheren und geräuschlosen Ausdruck von Kassenbelegen, Tickets und Rechnungen. Im Thermodruck-Verfahren wird ein Bild durch die direkte Übertragung von Hitze (thermischer Energie) auf ein thermochromes Gemisch im Thermopapier erzeugt. Bei einem thermochromen Gemisch ist die Wellenlänge des Lichts, das absorbiert wird, abhängig von der Temperatur. Thermochrome Gemische bestehen aus einem sogenannten Leukofarbstoff, einem Farbentwickler und einem Lösungsmittel. Letzteres schmilzt unter Hitzeeinwirkung und ermöglicht so das Zusammentreffen von Leukofarbstoff und Entwickler und damit die Farbreaktion.

1 Der pH-sensitive Leukofarbstoff
Leukofarbstoffe (von *leuco* (griechisch) für weiß) sind Farbstoffe, die ihre Farbe von farblos zu intensiv dunkel ändern können. Ein weit verbreiteter Leukofarbstoff ist das Kristallviolettlacton (Material 1).

1.1 Bei dem Kristallviolettlacton stellt sich in Gegenwart einer Säure das in Material 1 dargestellte Gleichgewicht ein.
Erklären Sie die Farbigkeit der dargestellten Verbindungen.

(3 BE)

1.2 Erläutern Sie den Einfluss der Substituenten in der protonierten Form auf die Farbigkeit von Kristallviolettlacton unter Verwendung entsprechender Fachbegriffe.

(5 BE)

2 Als Farbentwickler werden schwache Säuren eingesetzt. Sie reagieren mit dem Leukofarbstoff und setzen diesen in die gefärbte Form um. Der heute häufig eingesetzte Farbentwickler Bisphenol A (Material 2) gilt als gesundheitsschädlich und steht im Verdacht krebserregend zu sein. Ein geeigneter ungiftiger Farbentwickler ist das Propylgallat.

2.1 Skizzieren Sie mithilfe von Strukturformeln die Protolysereaktion der Leukoform von Kristallviolettlacton (Material 1) mit Propylgallat (Material 2).
Zeichnen Sie Pfeile zur Kennzeichnung der Verschiebung der Elektronenpaare ein.

(5 BE)

2.2 Diskutieren Sie die unterschiedlichen pK_S-Werte von Bisphenol A (pK_{S1} = 10,3) und Propylgallat (pK_{S1} = 7,5) mithilfe mesomerer Grenzformeln der jeweiligen korrespondierenden Base.

(6 BE)

2.3 Berechnen Sie den pH-Wert einer Lösung von Propylgallat (M = 212,2 g/mol) mit β(Propylgallat) = 2,5 g/L.

Hinweis: Betrachten Sie das Propylgallat als einprotonige Säure.

(3 BE)

2.4 Zur Bestimmung der Konzentration von Propylgallat in einer wässrigen Lösung wurden 20,0 mL der Probe in einen 100 mL Messkolben pipettiert und mit entmineralisiertem Wasser aufgefüllt. Daraus wurden 25,0 mL in einen ERLENMEYER-Kolben pipettiert und mit Natronlauge ($\tilde{c}$ = 0,100 mol/L, t = 0,987) titriert.

Hinweis: Betrachten Sie das Propylgallat als einprotonige Säure.

2.4.1 Ermitteln Sie mit den Angaben in Material 3, ob es sich bei dem fett markierten Wert (Wert bei Titration 4) um einen signifikanten Ausreißer handelt, und geben Sie das titrierte Volumen statistisch korrekt an.

(4 BE)

2.4.2 Berechnen Sie die Massenkonzentration β(Propylgallat) der Probe.

Hinweis: Sollten Sie in Aufgabe 2.4.1 zu keinem Ergebnis gelangt sein, dann verwenden Sie den Mittelwert der Natronlauge-Verbräuche für Ihre Berechnungen.

(3 BE)

2.5 Bei der Verbrennung von 0,233 g der Probe eines Farbentwicklers entstehen 0,484 g CO_2 und 0,119 g H_2O. Berechnen Sie die Verhältnisformel der untersuchten Substanz und ordnen Sie diese Bisphenol A oder Propylgallat zu.

(4 BE)

2.6 Ordnen Sie die UV-Spektren in Material 4 Bisphenol A bzw. Propylgallat unter Berücksichtigung der funktionellen Gruppen zu.

(4 BE)

3 Als Solvens, also Lösungsmittel für Leukofarbstoff und Farbentwickler, werden gewöhnlich langkettige organische Substanzen wie aliphatische Alkohole, Ester und Carbonsäuren eingesetzt, deren Schmelztemperaturen in einem Bereich von 40 bis 80 °C liegen. Ein häufig eingesetztes Solvens ist Tetradecan-1-ol.

3.1 Tetradecan-1-ol ($C_{14}H_{29}OH$) kann durch Reduktion von Tetradecansäure ($C_{13}H_{27}COOH$) mit Lithiumaluminiumhydrid ($LiAlH_4$) im alkalischen Milieu hergestellt werden.
Formulieren Sie für diese Reaktion die Reaktionsgleichung nach der Oxidationszahlmethode.

Hinweis: Neben dem Alkohol bilden sich bei der Reaktion Lithium- und Aluminium-Kationen.

(4 BE)

3.2 Berechnen Sie die Masse an Tetradecansäure (M = 228 g/mol) (w = 95,0 %), die zur Herstellung von 50,0 g Tetradecanol (M = 214 g/mol) benötigt wird, wenn die Ausbeute der Reaktion η = 85,0 % beträgt.

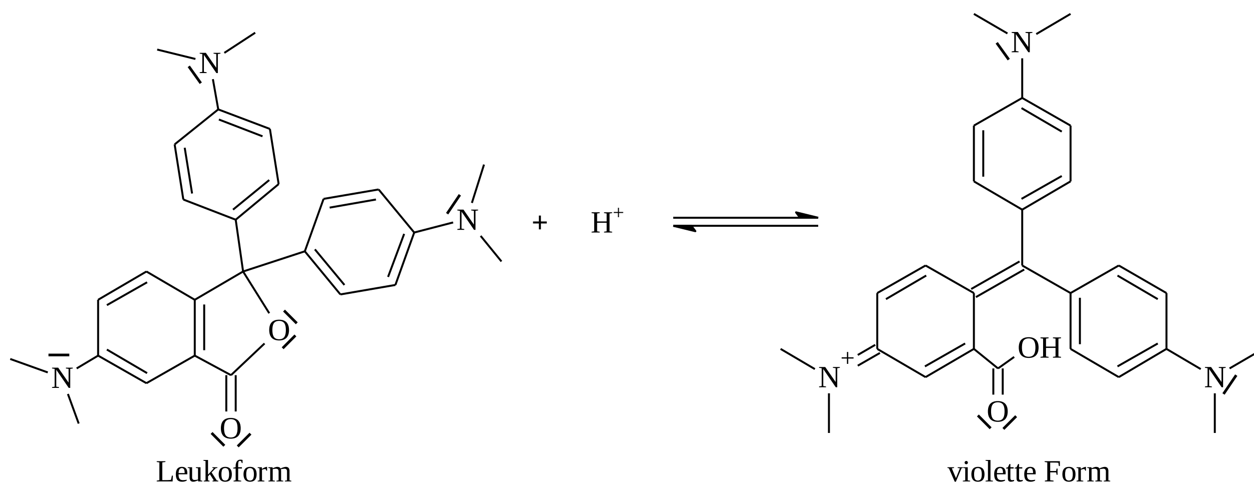
(4 BE)

3.3 Erklären Sie das Zustandekommen der Verfärbung des Thermopapiers anhand der Abbildung in Material 5 und des einleitenden Textes des Moduls.

(5 BE)

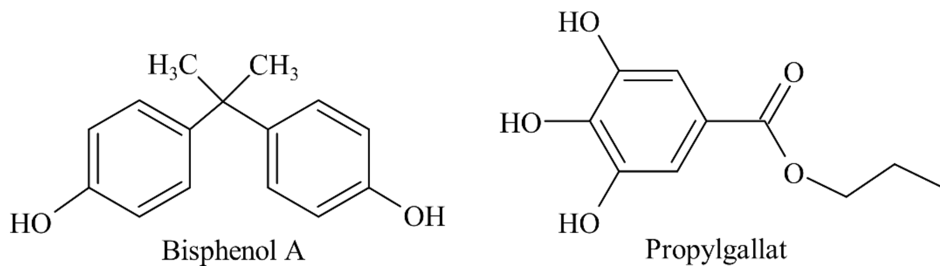
Material 1

Strukturformeln der Formen des Kristallviolettlactons



Material 2

Die Farbentwickler Bisphenol A und Propylgallat



Material 3

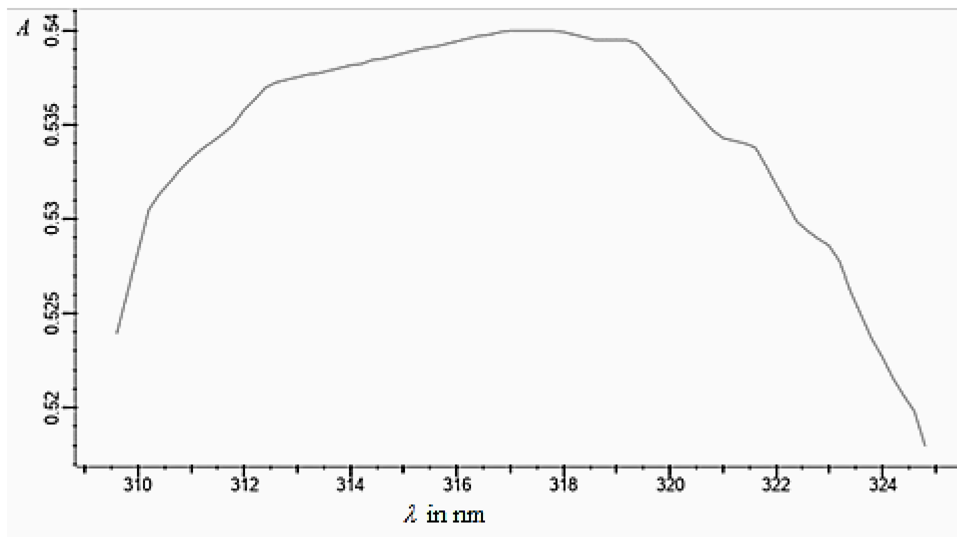
Verbrauch an Natronlauge bei der Titration von Propylgallat

Titration	1	2	3	4	5
Verbrauch an NaOH in mL	12,4	12,6	12,2	**13,1**	12,5

Material 4

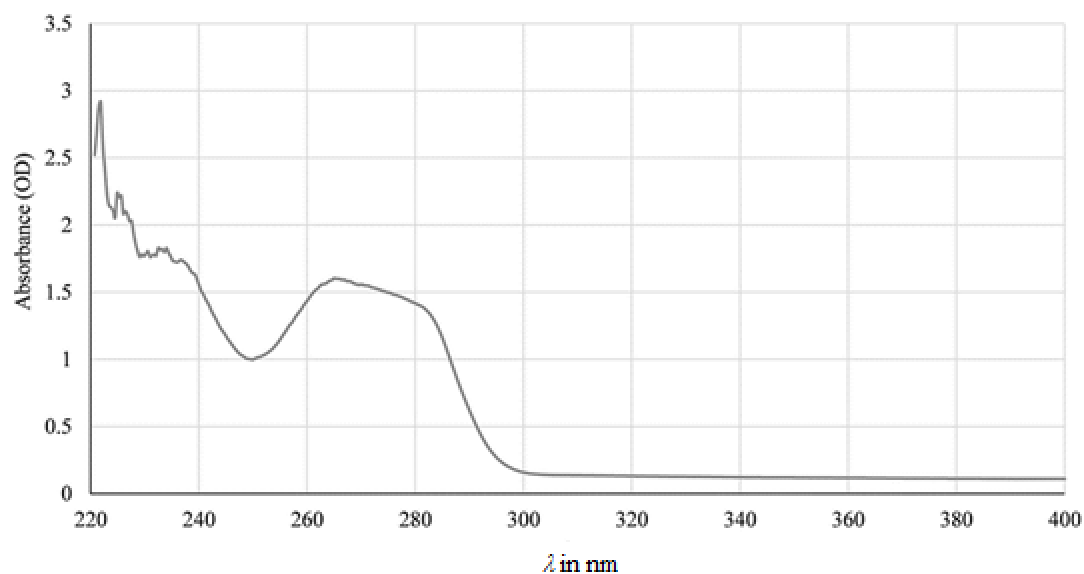
UV-Spektren von Bisphenol A und Propylgallat

Spektrum 1



https://spectrabase.com/spectrum/LVw2b0SxXir (abgerufen am 04.10.2021)

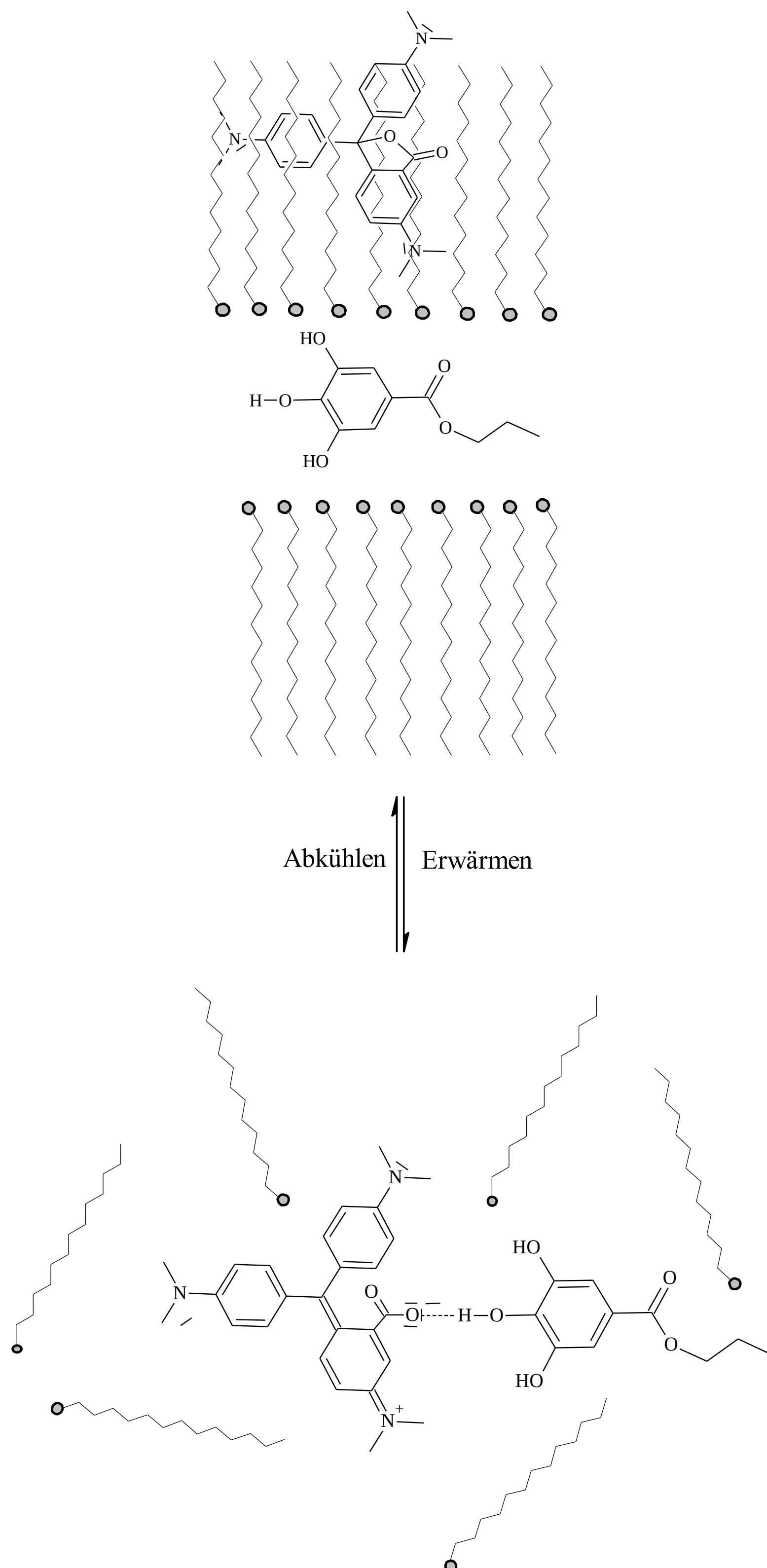
Spektrum 2



https://www.researchgate.net/figure/Bisphenol-A-UV-VIS-absorbance-spectrum-in-water-OD-optical density_fig4_308275549 (abgerufen am 04.10.2021).

Material 5

Modelldarstellung der Vorgänge beim Erwärmen bzw. Abkühlen des Thermopapiers



https://onlinelibrary.wiley.com/cms/asset/fab286fd-dd76-419c-9565-cbdfa6588712/ciuz201900849-fig-0600-m.jpg (abgerufen am 12.06.2020).